



Dağıtık Üretime Sahip Şebekelerde Yük Karakteristiklerinin Koruma Sistemi Üzerine Etkisinin İncelenmesi

İbrahim Evkay^{1*}, Mustafa Baysal², Uğur S. Selamoğulları³

^{1*} Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-7886-9051), ibrahimevkay@gmail.com

² Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6298-918X), baysal@yildiz.edu.tr

³ Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Turkey, (ORCID: 0000-0002-2272-4355), selam@yildiz.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 25 Aralık 2021 ve Kabul Tarihi 22 Ocak 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1042351)

ATIF/REFERENCE: Evkay, İ., Baysal, M. & Selamoğulları, U. S. (2022). Dağıtık Üretime Sahip Şebekelerde Yük Karakteristiklerinin Koruma Sistemi Üzerine Etkisinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (33), 236-243.

Öz

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının yaygınlaşması ile "Dağıtık Üretim" bir terim olarak elektrik şebekelerinde kullanılmaya başlanmıştır. Elektrik şebekesine bağlanan Dağıtık Üretim birimleri ile çift yönlü elektrik akışı söz konusudur. Bu nedenle şebekede koruma görevini yönlü elemanlar üstlenmektedir. Dağıtım şebekelerinde ise aşırı akım koruması için Yönlü Aşırı Akım Rölesi kullanılmaktadır. Kullanılan rölelerin sistemin bütününde koordinasyon içinde çalışması, koruma sisteminin etkin şekilde kullanılması açısından önemlidir. Bu çalışmada baralara bağlı olan yük tipleri ile röle koordinasyonu arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Farklı yük dağılımları kullanıldığında seçilen ayar grubuna sistemin nasıl tepki verdiği ve açma sürelerindeki değişiklikler incelenmiştir. Çalışmada IEEE 14 baralı test sisteminin dağıtım kısmı, test sistemi olarak kullanılmıştır. Ele alınan sistem ETAP (Elektrik Güç Sistemi Analiz Programı) programı ile modellenmiştir ve simüle edilmiştir. Rölelerin koordinasyonu için gerekli olan Zaman Kadranı Ayarı (TDS) değerleri, GAMS (Genel Cebirsel Modelleme Sistemi) aracı ile optimize edilmiştir. Çalışma sonucunda statik yük yoğunluğu arttıkça toplam röle açma süresinin arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yönlü aşırı akım rölesi, Dağıtık üretim, Statik yük, Motor yükü, Zaman kadranı ayarı.

Investigation of Effect of Load Characteristics on Protection System in Distributed Generation Integrated Networks

Abstract

"Distributed Generation" term is being used in electricity networks in response to the widespread use of Renewable Energy Resources in the network. When Distributed Generation units are connected to the electricity grid, the power flow becomes bidirectional. For this reason, directional elements undertake the task of protection in the network. In distribution networks, Directional Overcurrent Relay is used for overcurrent protection. It is important for the effectiveness of the protection system that the relays used work in coordination throughout the system. In this study, the relationship between the load types connected to the busbars and the relay coordination is analyzed. When different load distributions are used, how the system responds to the selected relay setting group and the changes in opening times are examined. In the study, the distribution part of the IEEE 14 busbar test system is used as the test system. The simulation of the system is modeled on ETAP (Electrical Power System Analysis Program). The Time Dial Setting (TDS) values required for the coordination of the relays have been optimized with the GAMS (General Algebraic Modeling System) tool. As a result of the study, it is seen that the total relay opening time increases as the static load ratio increases.

Keywords: Directional overcurrent relay, Distributed generation, Static load, Motor load, Time dial setting.

* Sorumlu Yazar: ibrahimevkay@gmail.com

1. Giriş

Geleneksel şebeke yapısından Akıllı Şebekelere geçişin hızlanmasının getirilerinden olan Dağıtık Üretim kaynaklarının şebekeye entegrasyonu, dağıtım şebekelerinde ve mikro şebekelerde daha fazla görünmeye başlamıştır. Dağıtık Üretim birimlerinin şebekelere dahil olmasıyla tek yönlü enerji akışı yerine çift yönlü enerji akışı ortaya çıkmıştır. Elektrik şebekelerindeki bu değişim ile dağıtım şebekelerinde tek yönlü enerji akışına göre tasarlanan koruma stratejilerinin iki yönlü enerji akışına göre uyarlanması gerekmektedir. Geliştirilen koruma yaklaşımlarının temel elemanları koruma röleleridir. Dağıtım şebekelerinde çift yönlü enerji akışı da bulunuyorsa yaygın olarak yönlü aşırı akım röleleri kullanılmaktadır. Bu cihazlar, bağlı oldukları sistem üzerindeki enerji dağıtım kabloları ve trafolar gibi diğer bileşenlere göre daha ucuzdur ve basit yapıdadır.

Dağıtık Üretim kaynaklarının elektrik sistemindeki oranının artması nedeniyle koruma sistemlerinde birtakım zorluklar ortaya çıkmıştır (Yazdaninejadi, 2017) ve koruma sistemi üzerine etkilerinin incelendiği çalışmalar yapılmıştır (Amer vd., 2021; Gairola ve Rawat, 2021). Kullanılan Dağıtık Üretim kaynağının türü röle koordinasyonu açısından önemli bir etkidir: Örneklendirmek gerekirse Senkron Tabanlı Dağıtık Üretim (SBDG, Synchronous Based Distributed Generation) kaynağı, bir İnverter Tabanlı Dağıtık Üretim kaynağına göre daha yüksek arıza akımı üretmektedir (Yazdaninejadi, 2017). Ayrıca sistemdeki statik ve motor (dinamik) yük modelleri de akımların büyüklüğünü etkilemektedir (Abacı vd., 2002). Bu tip sorunlar eşliğinde hatların korunması için etkin bir röle koordinasyonuna ihtiyaç vardır. Yönlü aşırı akım rölelerinin koordinasyonu üç ana grup altında çözüme ulaşabilir: Birincisi karışık tamsayı programlama (Srinivas vd., 2019; Urdaneta vd., 1988; Std. I, 1989; Yang vd., 2013), ikincisi doğrusal olmayan programlama (Darabi vd., 2020; Zeienldin vd., 2004), ve üçüncüsü doğrusal programlama (Elraife vd., 1993; Chattopadhyay vd., 1996; Sharaf vd., 2015; Alkaran vd., 2016; Evkay vd., 2020). Elektrik sisteminde yer alan statik ve motor yüklerine ait bazı modeller geliştirilmiştir (Hou vd., 2011; Arif vd., 2017). ETAP simülasyon programında bara yükü olarak motor ya da statik seçenekleri bulunmaktadır (Prabhu vd., 2016). Değişen yüklerin bulunduğu sistemdeki rölelerin koordinasyonu için bazı adaptif koruma yaklaşımları geliştirilmiştir (Alam, 2018; Coffele vd., 2014; Kumar vd., 2018). Her ne kadar yükler ve koruma yaklaşımı üzerine literatürde çeşitli çalışmalar yapılmış olsa da yüklerin yönlü koruma rölelerinin koordinasyon ayarları üzerindeki etkisine yönelik kapsamlı bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışmada, dağıtım şebekelerindeki yük karakteristiklerinin yönlü koruma röleleri uygulamalarındaki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla dağıtım şebekesinde yer alan motor ve statik yüklerin ağırlıkları değiştirilerek farklı yük karakteristikleri elde edilmiştir. Test sisteminde bulunan yönlü aşırı akım rölelerinin optimal koordinasyonu lineer programlama ile yapılarak farklı yük dağılımlarına göre tamamlandıktan sonra tamamen motor yüküne ve tamamen statik yüke ait röle ayarları, incelenen durumlar üzerine uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar incelenerek röleler arasındaki açma süreleri kontrol edilmiştir. Hedeflenen çalışmada, yük yoğunluğu açısından birbirinden farklı test sistemleri için, yükten bağımsız tek bir röle ayar grubu kullanmanın sonuçları analiz edilerek yük

modelinin türünün röle açma süresine etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen bilgiler, sonraki çalışmalar için ön çalışma niteliğindedir.

Çalışmanın geri kalanında şu bölümler bulunmaktadır: Test sisteminin özellikleri, rölelerin optimizasyon aşamaları ve çalışma boyunca gerçekleştirilen diğer adımlar Bölüm 2'de yer almaktadır. Bölüm 3'te gerçekleştirilen simülasyon işlemlerinin sonuçları paylaşılmıştır. Bölüm 4'te ise elde edilen sonuçlar ve gelecek çalışmalar yorumlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Yönlü Aşırı Akım Röleleri ve Koruma Mantığı

Geleneksel şebekelerde güç akışı üretim noktasından tüketim noktasına doğru olmaktadır. Birbirinin tersi yönünde konumlanmış iki kaynaklı bir sistem için iki yönlü enerji akışı söz konusudur. Dağıtık Üretim birimlerinin şebekelere entegre olmasıyla ortaya çıkan iki yönlü enerji akışı için yönlü aşırı akım koruma röleleri kullanılması gerekmektedir. Yönlü aşırı akım röleleri ve yönlü koruma mantığı için konsept çalışmalar yapılmıştır (Horak, 2006; Bawayan ve Younis, 2021; Tresnadi vd., 2021). Teknolojinin gelişmesinin de etkisiyle nümerik röleler ortaya çıkmış ve yeni nesil elektrik şebekeleri için dijital aşırı akım röleleri geliştirilmiştir (Oğuz vd., 2019).

Yönlü aşırı akım rölelerinde gerilim ve akım fazörünün arasındaki açı, akımın yönünü belirtmektedir (Horak, 2006). Koruma sistemlerinde yönlü aşırı akım rölelerine yönü belirlemede yardımcı olan ve ilgili akım seviyesini ölçen cihazlar gerilim ve akım trafolarıdır. Röle, aldığı yön ve akım büyüklüğü bilgisiyle devreyi açma komutunu devre kesiciye göndermektedir. Eğer devre kesici, asıl (primer) röleden gelen komutu zamanında uygulayamazsa ya da devre kesiciye zamanında bir komut gelmez ise aynı yönde bulunan yedek (backup) röleler, arıza akımının daha fazla noktaya ulaşarak sistemlerin zarar görmemesi ve enerji kesintisini sınırlı alanda tutmak amacıyla devreye girmektedirler. Koruma sistemlerinde seçiciliğin (selektivite) sağlanması için asıl ve yedek rölelerin koordinasyonuna ihtiyaç bulunmaktadır.

2.2. Röle Koordinasyonu ve Optimizasyon

Test sisteminde kullanılan rölelerin açma süreleri IEC 60255-3 standardı kullanılarak (1) numaralı denklem ile hesaplanmaktadır (Sharaf vd., 2016). Denklemde t_{trip} rölenin açma süresini, TDS zaman kadranı ayarını, I_{pu} rölenin üzerinden geçen anlık akım (yük akımı) değerini ve I_{fc} ise arıza akımını göstermektedir. A ve B değerleri ise kullanılan IEC standardından gelmekte olup normal ters zamanlı karakteristik eğrisine göre A değeri 0,14, B değeri ise 0,02 olarak alınmıştır (Std. I, 1989).

$$t_{trip} = TDS * \frac{A}{\left(\frac{I_{fc}}{I_{pu}}\right)^B - 1} \quad (1)$$

Yönlü aşırı akım rölelerinin koordinasyonunu sağlamak için optimal TDS değerini hesaplamak gerekmektedir. Bu nedenle bu optimizasyon problemini çözmek için gerekli olan amaç fonksiyonu denklem (2)'de verilmiştir (Sharaf vd., 2016).

$$\text{Min } T_{total} = \sum_{k=1}^m \left(\sum_{j=1}^n t_{trip,jk}^p + \sum_{i=1}^N t_{trip,ik}^b \right) \quad (2)$$

Denklem (2)'de k, lokasyonu; m, muhtemel arıza noktasını; n, toplam röle sayısını; N, yedek (backup) olarak çalışan röle sayısını; $t_{trip,jk}^p$, primer rölenin açma süresini; $t_{trip,ik}^b$, yedek rölenin açma süresini belirtmektedir.

$$t_{trip,ik}^b - t_{trip,jk}^p \geq \beta \quad \forall i, j, k \quad (3)$$

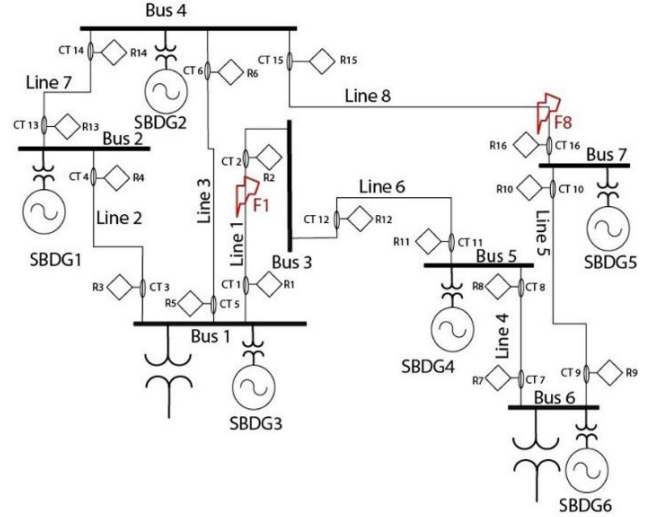
Denklem (3)'te ise optimizasyon problemini çözmek için gerekli olan kısıt denklemi verilmiştir. Burada; β , Koordinasyon Zaman Payı (KZP)'ni ifade etmektedir. Bu çalışmada β , 0,2 olarak alınmıştır (Evkay vd., 2020).

Problemin çözümü için gerekli olan ve denklem (1)'de belirtilen arıza akımı ve yük akımı ise ETAP adı verilen program aracılığıyla hesaplanmıştır. Röle koordinasyonu problemi, lineer (doğrusal) programlama olarak modellenmiştir. GAMS programı ile çözümlenerek en uygun TDS değerleri elde edilmiştir (Soroudi, 2017).

2.3. Sistem Özellikleri

Test sistemi olarak IEEE 14 baralı test sisteminin bir kısmı olan dağıtım şebekesi kullanılmıştır (Evkay vd., 2020). Test sistemi, Şekil 1'de verilmiştir. Test sistemindeki yüklere ait bilgiler Tablo 1'de, hatlara ait bilgiler ise Tablo 2'de bulunmaktadır. Primer ve yedek röle çiftleri, Tablo 3'te gösterilmiştir. Bu test sisteminde altı adet Dağıtık Üretim birimi

bulunmaktadır. Dağıtık Üretim birimleri, şekil üzerinde SBDG olarak gösterilmiştir ve SBDG modelinin detayları Khanbabapour ve Golshan'ın yaptıkları çalışmasında verilmiştir (Khanbabapour ve Golshan, 2016). Dağıtık Üretim birimlerinin güçleri SBDG1'den SBDG6'ya kadar sırasıyla şöyledir: 5 MVA, 10 MVA, 4 MVA, 5 MVA, 10 MVA ve 5 MVA.



Şekil 1. IEEE 14 Baralı Test Sisteminin Dağıtım Kısmı (Figure 1. Distribution Portion of IEEE 14-Bus Test System) (Evkay vd., 2020)

Tablo 1. Test Sistemine Bağlı Olan Yüklere Ait Bilgiler (Table 1. Information on Loads Connected to the Test System)

Yük Adı	Bağlı Olduğu Bara	Anma Gerilimi (kV)	Etiket Bilgileri			
			MVA	MW	Mvar	% Güç Faktörü
Load 1	1	1	13,479	11,2	7,5	83,09
Load 2	2	1	6,306	6,1	1,6	96,73
Load 3	3	1	3,936	3,5	1,8	88,93
Load 4	4	1	14,693	13,5	5,8	91,88
Load 5	5	1	10,707	9	5,8	84,06
Load 6	6	1	33,85	29,5	16,6	87,15
Load 7	7	1	15,717	14,9	5	94,8

Tablo 2. Test Sistemindeki Hatların Empedans Değerleri (Table 2. Impedance Values of Lines in the Test System)

Hat Adı	Baradan	Baraya	Gerilim Seviyesi	Baz MVA	Hat Empedansı (pu)	
					R	X
Line 1	1	3	1 kV	100 MVA	9,498	19,890
Line 2	1	2	1 kV	100 MVA	12,291	25,581
Line 3	1	4	1 kV	100 MVA	6,615	13,027
Line 4	6	5	1 kV	100 MVA	3,181	8,450
Line 5	6	7	1 kV	100 MVA	12,711	27,038
Line 6	3	5	1 kV	100 MVA	8,205	19,207
Line 7	2	4	1 kV	100 MVA	22,092	19,988
Line 8	4	7	1 kV	100 MVA	17,093	34,802

Tablo 3. Primer ve Yedek Röle Çiftleri (Table 3. Primary and Backup Relay Pairs)

Primer Röle	Yedek Röle	Primer Röle	Yedek Röle
1	4	8	12
	6	9	8
2	11	10	15
3	2	11	7
	6	12	1
4	14	13	3
5	2	14	5
	4		16
6	13	15	5
	16		13
7	10	16	9

2.3. Uygulanan Metot

Test sistemi, ETAP programında modellenmiştir. Arıza akımlarını ölçmek için üç fazlı simetrik arıza tipi kullanılmıştır. Arıza noktaları her rölenin hemen çıkışına konulmuştur. Böylece en yüksek arıza akımını görmek hedeflenmiştir. Her arıza noktası için ayrı ayrı arıza oluşturulmuştur. Her bir arıza sonucunda primer ve yedek rölelerin açma süreleri ölçülmüştür. Başlangıçta test sistemine bağlı olan yüklerin ETAP arayüzünde %100 motor yükü olduğu kabul edilmiştir ve aynı işlem, yük grubu %100 statik olacak şekilde değiştirilip tekrar arızalar

oluşturulmuştur. Daha sonra yükler, %50 motor yükü ve %50 statik yük olarak ayarlanıp test tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, aynı sistemde yük ayarları değiştirilmeden sadece röle TDS değerleri değiştirilerek sırasıyla %100 motor yükü ve %100 statik yük ayarları uygulanmış ve testin tekrarları yapılarak sonuçlar not alınmıştır. Bu işlem adımları “%30 motor %70 statik” ve “%70 motor %30 statik” yükler için tekrarlanmıştır. Yapılan yük değişimlerinde toplam yük miktarı değişmemektedir. Sadece yükün statik yük ve motor yükü arasındaki yüzdesinde yani toplam yük içerisindeki ağırlıklarında değişiklik yapılmaktadır. Simülasyon programında incelenen durumlar aşağıda listelenmiştir:

- Durum 1: %100 Motor Yükü
- Durum 2: %100 Statik Yük
- Durum 3: %50 Motor Yükü ve %50 Statik Yük
- Durum 4: %30 Motor Yükü ve %70 Statik Yük
- Durum 5: %70 Motor Yükü ve %30 Statik Yük
- Durum 6: Durum 3 için %100 Motor Yükü Ayarları
- Durum 7: Durum 3 için %100 Statik Yük Ayarları
- Durum 8: Durum 4 için %100 Motor Yükü Ayarları
- Durum 9: Durum 4 için %100 Statik Yük Ayarları
- Durum 10: Durum 5 için %100 Motor Yükü Ayarları
- Durum 11: Durum 5 için %100 Statik Yük Ayarları

Her bir adım öncesinde sistemdeki yük akımları ve arıza akımları alınıp rölelerin optimizasyonu için kullanılmışlardır. Bir sistemde yüzdesel olarak yüklerin statik veya motor ağırlıkları değiştiğinde, farklı ayar gruplarının kullanımı sonucu rölelerin bu durumlara cevabı araştırılmıştır, geçici olarak %100 motor yükü ayarları ya da %100 statik yük ayarları uygulamasının sonuçları karşılaştırılmıştır. Durum 1 ve Durum 2, rölelerin TDS ayarları açısından referans alınacak sistemlerin incelendiği çalışmalardır. Durum 3, Durum 4 ve Durum 5, sistemdeki yük ağırlıkları değiştirilerek elde edilen çalışmaları göstermektedir.

Bu durum incelemelerinin sonuçları da test edilmek istenen %100 motor ayarlarının uygulanmasında ve %100 statik yük ayarlarının uygulanmasında kendi içlerinde referans alınan çalışma olarak değerlendirilmiştir. Durum 1, Durum 2, Durum 3, Durum 4 ve Durum 5'teki çalışmalar optimal değerlere göre yapılmıştır. Durum 6, Durum 7, Durum 8, Durum 9, Durum 10 ve Durum 11 ise sistemin motor yükü ve statik yük açısından yüzdesel yük ağırlıkları bilinmediği takdirde sistemde yer alan rölelerin TDS değerlerini %100 motor yüküne ya da %100 statik yüke göre alıp açma sürelerini de bu ayar gruplarıyla hesaplayıp ilgili sistemin toplam açma süreleri ile bu eyleme karşı vereceği tepkinin araştırıldığı senaryolardır. Buradaki amaç tek bir ayar grubu kullanarak yüklerin statik ve motor yükü açısından ağırlığı bilinmeden sistemin koordinasyona uygun şekilde çalışmasının seçilen bir ayar grubu ile mümkün olup olmadığının incelenmesi vardır.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Simülasyon programında elde edilen sonuçlar, tablolar halinde aşağıda verilmiştir. Her bir primer röle için rölenin yakınında oluşturulan arızaya göre açma süresi tespit edilip aynı rölenin yedek röle konumunda olanları için açma süreleri ölçülmüştür. Tüm primer röle için gerçekleştirilen bu adımların sonrasında ilgili duruma ait tablolar oluşturulmuştur. Sistemdeki tüm primer ve yedek rölelerin açma süreleri toplanarak "toplam röle açma süresi" değeri elde edilmiştir.

Yapılan simülasyonlar sonucunda incelenen her bir duruma ait toplam açma süreleri Tablo 4, Tablo 5, Tablo 6 ve Tablo 7'de verilmiştir. Durum 1 ve Durum 2 test sonuçları, hem toplam açma sürelerinin diğer durumlara göre karşılaştırmasını yapmak hem de Durum 1'de ve Durum 2'de kullanılan TDS ayar gruplarını elde ederek diğer durumlar üzerinde uygulamak için Tablo 4'te verilmiştir. İncelenmesi hedeflenen Durum 3, Durum 4 ve Durum 5'e ait test sonuçları, referans alınacak durumlar olarak seçilmiştir. Bu beş durum tamamen optimal röle ayar değerleri ile oluşturulmuştur. Geriye kalan test sonuçları ise çalışmanın hedefi doğrultusunda karşılaştırma yapılması istenen durumlar ile ilgilidir.

Tablo 4. Referans Alınacak Durumların Toplam Açma Sürelerinin Karşılaştırılması (Table 4. Comparison of Total Tripping Times of Reference Conditions)

İncelenen Durumlar	Primer Röle Açma Süresi (s)	Yedek Röle Açma Süresi (s)	Sistemin Toplam Röle Açma Süresi (s)
Durum 1: %100 Motor Yükü	18,21	30,038	48,248
Durum 2: %100 Statik Yük	19,535	32,225	51,76

Tablo 5. %50 Motor Yükü ve %50 Statik Yük İçin Toplam Açma Sürelerinin Karşılaştırılması (Table 5. Comparison of Total Tripping Times for 50% Motor Load and 50% Static Load)

İncelenen Durumlar	Primer Röle Açma Süresi (s)	Yedek Röle Açma Süresi (s)	Sistemin Toplam Röle Açma Süresi (s)	Toplam Röle Açma Süresinin Değişimi
Durum 3: %50 Motor Yükü ve %50 Statik Yük	22,25	36,746	58,996	---
Durum 6: Durum 3 için %100 Motor Yükü Ayarları Uygulaması	19,575	31,823	51,398	%-12,88
Durum 7: Durum 3 için %100 Statik Yük Ayarları Uygulaması	17,208	28,243	45,451	%-22,96

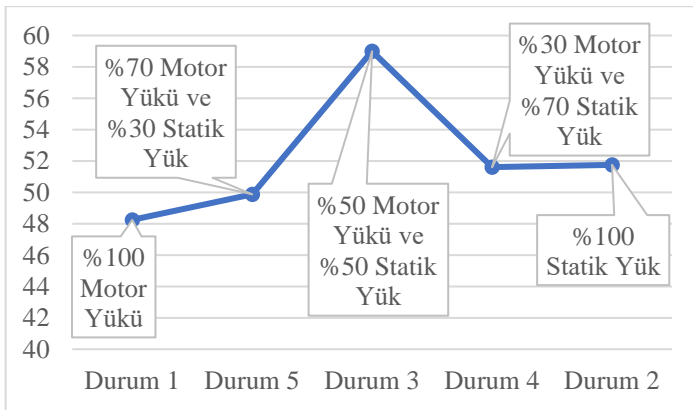
Tablo 6. %30 Motor Yükü ve %70 Statik Yük İçin Toplam Açma Sürelerinin Karşılaştırılması (Table 6. Comparison of Total Tripping Times for 30% Motor Load and 70% Static Load)

İncelenen Durumlar	Primer Röle Açma Süresi (s)	Yedek Röle Açma Süresi (s)	Sistemin Toplam Röle Açma Süresi (s)	Toplam Röle Açma Süresinin Değişimi
Durum 4: %30 Motor Yükü ve %70 Statik Yük	19,532	32,069	51,601	---
Durum 8: Durum 4 için %100 Motor Yükü Ayarları Uygulaması	20,145	33,062	53,207	%3,11
Durum 9: Durum 4 için %100 Statik Yük Ayarları Uygulaması	17,882	29,327	47,209	%-8,51

Tablo 7. %70 Motor Yüğü ve %30 Statik Yüğü İçin Toplam Açma Sürelerinin Karşılaştırılması (Table 7. Comparison of Total Trip Times for 70% Motor Load and 30% Static Load)

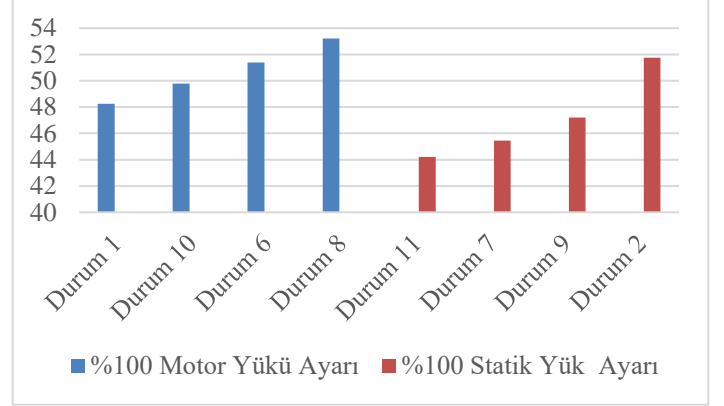
İncelenen Durumlar	Primer Röle Açma Süresi (s)	Yedek Röle Açma Süresi (s)	Sistemin Toplam Röle Açma Süresi (s)	Toplam Röle Açma Süresinin Değişimi
Durum 5: %70 Motor Yüğü ve %30 Statik Yüğü	18,859	31,016	49,875	---
Durum 10: Durum 5 için %100 Motor Yüğü Ayarları Uygulaması	18,83	30,948	49,778	%-0,19
Durum 11: Durum 5 için %100 Statik Yüğü Ayarları Uygulaması	16,729	27,477	44,206	%-11,37

Tablo 5, Tablo 6 ve Tablo 7’de “Toplam Röle Açma Süresinin Değişimi” sütunu bulunmaktadır. Bu sütundaki değerler, ilgili tablonun ilk sırasında bulunan o tabloya göre referans alınan duruma göre olan yüzdesel değişimi ifade etmektedir. Örneğin, Tablo 5’te optimal değerlerle incelenen %50 motor yüğü ve %50 statik yüğü ağırlığı ile Durum 3 referans alınmıştır ve Durum 6 ile Durum 7’deki toplam röle açma sürelerindeki artma ya da azalmalar Durum 3’e göre yüzdesel değişimler şeklinde ilgili sütunda belirtilmiştir. Burada +, açma süresindeki artmaya işaret ederken, - ise açma süresinde azalmayı göstermektedir.



Şekil 2. Referans Alınan Durumların Toplam Röle Açma Sürelerinin Karşılaştırılması (Figure 2. Comparison of Total Tripping Times of Reference Conditions)

Şekil 2’deki grafikte yük tipleri ile açma süresi arasındaki ilişkiyi inceleyebilmek için incelenen durumların sonuçları yük tiplerindeki oranların değişimine göre sıralanmıştır. Şekil 2’ye göre %50 motor yüğü ve %50 statik yüğü sahip sistem, en yüksek toplam röle açma süresine sahiptir. En düşük toplam röle açma süresi ise %100 motor yüğüne ait sistemdedir.



Şekil 3. Statik Yüğü Ayarı ve Motor Yüğü Ayarı Uygulamalarının Toplam Röle Açma Süresinin Karşılaştırılması (Figure 3. Comparison of Total Relay Tripping Time of Static Load Setting and Motor Load Setting Applications)

Şekil 3’te %100 motor yüğü ayarının kullanıldığı durumlar ile %100 statik yüğü ayarlarının kullanıldığı durumlar karşılaştırılmıştır. Durum 1 ve Durum 2, temel durumlar olduğu için grafikte referans olarak yer verilmiştir. %100 motor yüğü ayarlarını içeren sonuçlara göre sistemin sahip olduğu yük tipinde motor yüğü azaldıkça toplam röle açma süresi artmıştır. %100 statik yüğü ayarlarının sonuçlarına göre ise %100 motor yüğü sonuçlarının tersine bir durum ortaya çıkmıştır. Sistemde bulunan statik yüğü oranı arttıkça motor yüğüne göre toplam röle açma süresinin arttığı sonucuna varılabilir. Ayrıca aynı yük dağılımına sahip sistemlerde %100 motor yüğü ayarının kullanılması ile ortaya çıkan toplam açma süresi, %100 statik yüğü ayarları sonucu elde edilen açma sürelerinden her zaman fazla olduğu görülmektedir.

4. Sonuç

Tablo 4’teki sonuçlara göre optimizasyonu yapılmış olan %100 motor yüğü, %100 statik yüğü göre daha düşük açma süresi vermektedir. Buna karşın diğer yük dağılımlarının sonuçlarına bakıldığında diğer sistemlere uygulanan %100 statik yüğü ayarları aynı yük dağılımına sahip sistemin toplam açma süresini %100 motor ayarlarına göre daha çok düşürdüğü görülmektedir. Bununla birlikte %100 statik yüğü ayarları uygulanan durumlarda primer ve yedek rölelerin açma sürelerini göz önüne aldığımızda optimizasyonun gerekliliklerinden birisi olan KZP şartını sağlamadığı görülmüştür. %100 motor yüğü primer ve yedek röle açma süresi tablolarında ise %100 statik yüğü göre daha fazla röle bu şartı sağlarken tüm röleler bu kısıta uymadığı için bu ayar grubunun da her yerde kullanımı uygun görünmemektedir. Daha detaylı çalışmalar yapılarak röle açma süreleriyle uygulanan röle ayarları ve yük tipi arasındaki ilişkinin araştırılması gerekmektedir. Çalışma sonucunda elde edilen veriler, gelecekte yapılacak çalışmalar için temel oluşturmuştur.

Gelecekteki çalışmalarda incelenen diğer yük dağılımlarına sahip Durum 3, Durum 4 ve Durum 5'teki ayar grupları, farklı yük dağılımları için denenip tek bir ayar grubu ile tüm sistemler için uygulanabilecek değerler aranmaya devam edilebilir. Sistemin tüm bileşenleri arıza akımlarını ve yük akımlarını etkilediği için test sisteminde bulunan Dağıtık Üretim kaynaklarının sayıları ve güçlerinin sistem üzerine dağılışının bu çalışma üzerindeki etkisinin olup olmadığının incelenmesi de hedefler arasında yer almaktadır. Ayrıca bulunması amaçlanan ayar grubu sayesinde rölelerin selektivitesinden ödün vermeden koruma yaklaşımı geliştirilebilir. Geliştirilen yeni koruma yaklaşımı, röle açma süresi açısından bir üst sınırı olmayan dağıtım şebekelerinde veya şebekeden bağımsız çalışabilen mikro şebekede tekrar tekrar optimizasyon problemi çözmeden röle ayarlarını kullanmaya imkan tanıyabilir.

Kaynakça

- Abacı, K., Yalçın, M., & Gelberi, H. (2002). Elektriksel Yüklerin Dinamik Benzetimleri. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(2), 77-81.
- Alam, M. N. (2018). Adaptive protection coordination scheme using numerical directional overcurrent relays. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(1), 64-73.
- Alkaran, D. S., Vatani, M. R., Sanjari, M. J., Gharehpetian, G. B., & Naderi, M. S. (2016). Optimal overcurrent relay coordination in interconnected networks by using fuzzy-based GA method. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(4), 3091-3101.
- Amer, A. A., Abdelbaki Gouda, E., & Elmitwally, A. (2021). An Overview in Protection Coordination Methods for Mitigation DGs Penetration in Distribution System.(Dept. E). *MEJ. Mansoura Engineering Journal*, 46(4), 53-64.
- Arif, A., Wang, Z., Wang, J., Mather, B., Bashualdo, H., & Zhao, D. (2017). Load modeling—A review. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(6), 5986-5999.
- Bawayan, H., & Younis, M. (2021). Microgrid Protection through Adaptive Overcurrent Relay Coordination. *Electricity*, 2(4), 524-553.
- Chattopadhyay, B., Sachdev, M. S., & Sidhu, T. S. (1996). An on-line relay coordination algorithm for adaptive protection using linear programming technique. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 11(1), 165-173.
- Coffe, F., Booth, C., & Dýsko, A. (2014). An adaptive overcurrent protection scheme for distribution networks. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 30(2), 561-568.
- Darabi, A., Bagheri, M., & Gharehpetian, G. B. (2020). Dual feasible direction-finding nonlinear programming combined with metaheuristic approaches for exact overcurrent relay coordination. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 114, 105420.
- Elrafie, H. B., & Irving, M. R. (1993). Linear programming for directional overcurrent relay coordination in interconnected power systems with constraint relaxation. *Electric power systems research*, 27(3), 209-216.
- Evkay, I., Ashraf, S., Baysal, M., Selamogullari, U. S., & Hasan, O. (2020, October). Single Dual Setting Directional Overcurrent Relay Based Line Protection Logic for Distributed Generation Integrated Power Systems. In 2020 2nd Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM) (pp. 245-250). IEEE.
- Gairola, E., & Rawat, M. S. (2021, December). An Extensive Review On Microgrid Protection Issues, Techniques And Solutions. In 2021 9th IEEE International Conference on Power Systems (ICPS) (pp. 1-6). IEEE.
- Horak, J., & Babic, W. (2006, April). Directional Overcurrent Relaying (67) Concepts. In 2006 IEEE Rural Electric Power Conference (pp. 1-8). IEEE.
- Hou, J., Xu, Z., & Dong, Z. Y. (2011, July). Load modeling practice in a smart grid environment. In 2011 4th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT) (pp. 7-13). IEEE.
- Khanbabapour, S., & Golshan, M. H. (2016). Synchronous DG planning for simultaneous improvement of technical, overcurrent, and timely anti-islanding protection indices of the network to preserve protection coordination. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 32(1), 474-483.
- Kumar, D. S., Srinivasan, D., Sharma, A., & Reindl, T. (2018). Adaptive directional overcurrent relaying scheme for meshed distribution networks. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 12(13), 3212-3220.
- Oğuz, E., Ateş, Y., & Hekimoğlu, M. (2019). Yeni Nesil Elektrik Dağıtım Şebekeleri İçin Çok Fonksiyonlu Dijital Aşırı Akım Rölesi Tasarımı ve Geliştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 16), 915-924.
- Prabhu, J. A. X., Sharma, S., Nataraj, M., & Tripathi, D. P. (2016, March). Design of electrical system based on load flow analysis using ETAP for IEC projects. In 2016 IEEE 6th International Conference on Power Systems (ICPS) (pp. 1-6). IEEE.
- Sharaf, H. M., Zeineldin, H. H., Ibrahim, D. K., & Essam, E. L. (2015). A proposed coordination strategy for meshed distribution systems with DG considering user-defined characteristics of directional inverse time overcurrent relays. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 100(65), 49-58.
- Sharaf, H. M., Zeineldin, H. H., & El-Saadany, E. (2016). Protection coordination for microgrids with grid-connected and islanded capabilities using communication assisted dual setting directional overcurrent relays. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(1), 143-151.
- Soroudi A. (2017) Introduction to Programming in GAMS. In: Power System Optimization Modeling in GAMS. Springer, Cham.
- Srinivas, S. T. P., & Swarup, K. S. (2019). A new mixed integer linear programming formulation for protection relay coordination using disjunctive inequalities. *IEEE Power and Energy Technology Systems Journal*, 6(2), 104-112.
- Std, I. (1989). 60255-3. Electrical relays-Part 3: Single input energizing quantity measuring relays with dependent or independent time.
- Tresnadi, H. A., Nugroho, T. A., Abdillah, M., & Pertiwi, N. I. (2021, September). Coordination of Directional Overcurrent Relay Using PSO-DE Algorithm. In 2021 International Conference on Technology and Policy in Energy and Electric Power (ICT-PEP) (pp. 412-417). IEEE.
- Urdaneta, A. J., Nadira, R., & Jimenez, L. P. (1988). Optimal coordination of directional overcurrent relays in interconnected power systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 3(3), 903-911.
- Yang, H., Wen, F., & Ledwich, G. (2013). Optimal coordination of overcurrent relays in distribution systems with distributed generators based on differential evolution algorithm. *International transactions on electrical energy systems*, 23(1), 1-12.

- Yazdanejadi, A., Nazarpour, D., & Golshannavaz, S. (2017). Dual-setting directional over-current relays: An optimal coordination in multiple source meshed distribution networks. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 100(86), 163-176.
- Zeienldin, H., El-Saadany, E. F., & Salama, M. A. (2004, July). A novel problem formulation for directional overcurrent relay coordination. In *2004 Large Engineering Systems Conference on Power Engineering (IEEE Cat. No. 04EX819)* (pp. 48-52). IEEE.